

学位論文題名

変動圧力プローブの開発および噴流構造解明への適用

学位論文内容の要旨

乱流中には規則的な流れの構造である大規模組織構造が存在している。大規模組織構造は、Kelvin-Helmholtz型不安定により波が発生し、その後波の発達により渦へと成長して行き、渦の合体および崩壊をとめない流下する。この大規模組織構造は境界層、混合層、噴流、後流など工学分野で数多く見られる自由乱流せん断層内に存在し、乱れの生成および乱流の活動を維持する重要な役割を担っている。したがって、大規模組織構造の生成-成長-崩壊の挙動を明らかにすることは、流れの拡散、混合の促進、騒音の低減および流体機械の効率向上など工学的応用面で有益をもたらすことが期待される。

大規模組織構造の挙動にともなう乱流中のエネルギーの生成および速度成分間のエネルギー授受は、変動速度のほかに圧力変動の寄与も重要な役割を担っている。しかし、乱流中の変動圧力は精度上の問題から直接測定された例はわずかである。乱流中の大規模組織構造を調べるためには、変動速度に対応する変動圧力を測定することが非常に重要である。

そこで、本研究は、従来開発されてきた変動圧力プローブの問題点を改善し、変動圧力の時間的変化を精度よく測定できる圧力プローブの開発を行なった。また、その一つの応用として乱流噴流の大規模組織構造を測定し変動圧力プローブの有用性を明らかにした。

本論文は2編から構成されており、第I編は変動圧力プローブの開発に関するもので、圧力プローブの構造と特性が述べられている。第II編は円管噴流および非円形噴流の特性が述べられている。

第I編、第1章は緒言である。本章ではこれまで開発されている変動圧力プローブの問題点を指摘した。また、乱流中の圧力変動の測定が乱流を支配している大規模組織構造を解明する上で有効であることを指摘し、噴流中の三次元的に複雑な渦構造が変動圧力場により明瞭になることを言及した。

第2章では、変動圧力を測定する上での誤差原因を考慮した圧力プローブの開発条件を挙げ、プローブに適した静圧管形状の検討を行ない、圧力プローブの構造を示している。圧力プローブは円錐型静圧管に直径1/4インチのコンデンサーマイクロホンを取り付けた構造となっている。

第3章では、圧力プローブの特性が述べている。プローブの方向特性、周波数特性および変動速度との対応関係が調べられている。また、実際の乱流中の測定を行いその有用性を示している。さらに、測定誤差の検討も行い、実測値と理論値の比較検討を行ない、実際の乱流場への適用が可能であることを確かめている。

第4章は結言である。前章までの研究結果を総括するとともに、変動圧力プロ

ープは乱流中の変動圧力を精度よく測定でき、乱流中の渦構造を抽出するのに極めて有効であると結論している。

第Ⅱ編、第1章は緒言である。本章では、長い管から噴出するような、噴出口で十分に発達した管内乱流が噴流となる円管噴流が工学的応用面で重要であることを指摘している。また、非円形噴流中の渦構造の変形・干渉挙動が噴流の拡散・混合作用の促進に寄与していることを指摘している。

第2章では、円管噴流の特性が述べられている。平均速度特性、変動速度特性を明かにしている。また、変動速度測定によるエネルギースペクトル、相関係数により噴流中の大規模組織構造の存在を示している。さらに、変動圧力の位相平均測定による等圧力分布より大規模組織構造の抽出が可能であることを示している。

第3章では、非円形噴流の一つである長方形噴流の特性が述べられている。非円形噴流中の可視化結果と等圧線図との対応結果が示されている。また、変動圧力場の可視化画像より位相変化による渦構造の挙動を検討し、渦構造の干渉モデルを示している。

第4章は結言である。前章までの研究結果を総括するとともに、乱流中の三次元渦構造の挙動を調べるには、流れの方向性に影響を受けないスカラー量である変動圧力測定による渦構造の抽出が有効であると結論している。

最後に本論文の総括が述べられている。乱流中の変動圧力を精度よく測定できる変動圧力プローブが開発された。この圧力プローブを実際の流れ場である円管噴流および非円形噴流に適用し、噴流中の大規模組織構造の抽出に極めて有効であることが結論づけられており、乱流中に存在する三次元渦構造を圧力分布にもとづいて抽出することが可能になった。今後、変動圧力プローブによる測定が、種々の乱流中の大規模組織構造を的確に抽出し、実験的研究の精度を高めるとともに乱流の本質の解明に適用されることが期待される。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 木 谷 勝

副 査 教 授 工 藤 一 彦

副 査 教 授 飯 田 誠 一

副 査 教 授 井 上 良 紀

学 位 論 文 題 名

変動圧力プローブの開発および噴流構造解明への適用

流体を取り扱う機器・装置内の流れはほとんどすべて乱流であり、これら機器・装置の一層の高性能化、設計の高度化・精密化のためには、乱流の組織構造の解明と制御が不可欠と認識されている。組織構造の解明は乱流のモデリングのためにも不可欠の情報である。これを反映して、組織構造の解明は乱流研究の主流の一つとなっている。

組織構造に対する定義は研究者によってさまざまであるが、乱流中における強い渦度をとまなう流れの領域という点については合意が得られている。このような領域の運動は強い圧力変動を引き起こすので、変動圧力にもとづいて組織構造を解明することは当然考えられることである。最近の流れの数値シミュレーションにおいても、乱流構造における変動圧力の重要性が指摘されている。それにもかかわらず、変動圧力によって組織構造を実験的に研究することは少数の試みを除いて本格的には行われていない。その理由の一つとして信頼性の高い変動圧力プローブが開発されていなかったことがあげられる。

本論文は、既往の研究結果を基礎としてこれを改良し、信頼性の高い変動圧力測定プローブを開発してその動特性を明らかにするとともに、これによって乱流噴流の組織構造に関する新知見を得たものであり、序論、第1編4章および第2編4章から構成されている。

序論において本論文全体の意義と構成が記述されている。

第1編は変動圧力プローブの開発について述べている。

第1章は緒言であり、乱流の組織構造の解明における変動圧力の重要性および変動圧力プローブに関する既往の研究を概観し、本論文の位置づけおよび目的について述べている。

第2章では、乱流中の変動圧力を測定するプローブに要請される条件を

述べ、既往の研究結果を総括して、小型マイクロホンをセンサーとする4種類のプローブ形状を考案している。それぞれのプローブについて方向特性を測定し、4つの静圧孔をもつ円錐形プローブが最適であることを明らかにしている。

第3章では、この最適プローブが噴流や後流などの基本的なせん断乱流の変動圧力測定に十分な方向特性および周波数応答特性をもつことを示している。このプローブを円柱後流および円形噴流中の圧力変動ならびに渦輪の通過による圧力変動の測定に適用し、速度変動との対比によって、妥当な結果が得られることを確認している。とくに、噴流中の変動速度と変動圧力の相互相関を与えたことは重要な貢献である。

第4章は結論であり、第1編で得られた結果を要約している。

第2編は開発したプローブによる円形噴流および非円形噴流の測定結果について述べている。

第1章は緒言であり、乱流噴流の組織構造に関する既往の研究を総括し、組織構造の抽出における変動圧力の重要性について述べている。

第2章は円形噴流における変動圧力の測定である。まず対象とする円形噴流が標準的な特性をもつことを、速度変動および相互相関の測定によって確認した後、組織構造にともなう噴流の軸方向および半径方向の圧力変動の分布を、位相平均法によって求めている。これによって組織構造の運動と変形過程が明らかにされている。速度変動にもとづく測定との比較によって、噴流内の組織構造の抽出には圧力変動の方がより有効であることを示したことは特筆すべき貢献である。

第3章では、開発したプローブを、より複雑な構造をもつ矩形噴流の組織構造の解明に適用している。噴流の二つの中心断面および噴流軸に垂直な断面内における位相平均圧力分布の時間発展を求め、組織構造の運動、変形、相互作用および崩壊の過程をはじめて明らかにしている。またこの結果が流れの可視化から得られた組織構造とよく対応することを確認している。

第4章は結論であり、第2編で得られた結果を総括している。

これを要するに、著者は、乱流中の変動圧力を測定するための信頼性の高いプローブを開発してその特性を明らかにするとともに、これを用いて乱流噴流中の圧力変動および組織構造に関する新知見を得たもので、流体力学および流体計測法の進歩に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。